

ВЛИЯНИЕ АРМИРУЮЩЕГО БОЛТА НА РАБОЧУЮ ЧАСТОТУ ПАКЕТНОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Мовчанюк А. В., к.т.н., доц.; Фесич В. П., Новосад А. А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Для получения ультразвуковых колебаний средней и большой интенсивности получили преобразователи Ланжевена на основе пьезокерамики [1, 2]. Преобразователь Ланжевена (рис. 1) состоит из пакета пьезоэлементов, включенных встречно, армирующего болта и двух частотопонижающих накладок. В случае необходимости, к одной из накладок может быть присоединен трансформатор скорости, для изменения амплитуды механических колебаний и согласования пьезопреобразователя с технологической нагрузкой.

При расчете пакетного преобразователя влиянием армирующего болта пренебрегают. Это связано с тем, что акустические параметры материалов имеют большой разброс, и результаты расчетов будут отличаться от экспериментальных данных. Однако, помимо основного «рабочего» резонанса, возможно возникновение «паразитных». При этом частоты «паразитных резонансов» желательно рассчитывать, а не получать их фактические значения на основе экспериментальных данных.

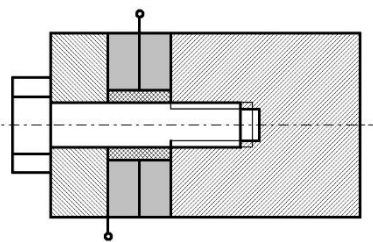


Рисунок 1. Преобразователь Ланжевена

Поэтому учет различных факторов, влияющих на характеристики преобразователей, является актуальной задачей. Для упрощения рассмотрим пьезокерамический пакет, стянутый армирующим болтом без частотопонижающих накладок. Это позволит рассмотреть вопрос на качественном уровне.

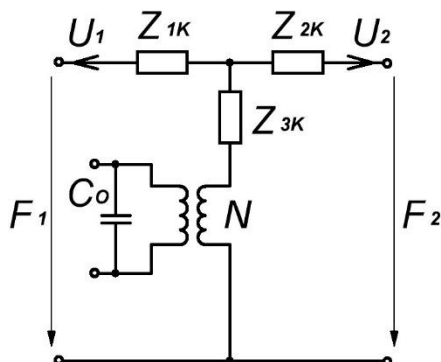


Рисунок 2. Т-образная схема замещения пьезоэлемента

Для моделирования пьезопреобразователей удобно пользоваться прямым методом электромеханических аналогий [3]. Ток принимается пропорциональным колебательной скорости, а напряжение – силе. При этом составные части преобразователя представляются отрезками эквивалентных длинных линий с Т или П-образными схемами замещения. Для Т-

образными схемами замещения. Для Т-

образной схемы замещения (рис.2) связь электрических и механических параметров осуществляется при помощи электромеханического трансформатора, с коэффициентом трансформации $N = (d_{33} \cdot S_K \cdot E_{33}^E) / l_K$. Если считать волновое сопротивление материала пьезокерамики равным произведению плотности, на скорость звука и на площадь: $Z_{0K} = \rho_K \cdot c_K \cdot S_K$, то параметры схемы замещения без учета потерь:

$$Z_{1K} = Z_{2K} = j \cdot Z_{0K} \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{\omega \cdot l_K}{c_K \cdot 2} \right], \quad Z_{3K} = -j \frac{Z_{0K}}{\sin \left[\frac{\omega \cdot l_K}{c_K} \right]}.$$

При добавлении в схему армирующего болта (рис.3), колебательные скорости торцов болта и пьезокерамики должны совпадать. После преобразований, приходим к схеме (рис.4) на которой импеданс пьезокерам. и болта в соответствующих ветвях включен последовательно. Полученная эквивалентная схема может быть использована для анализа преобразователя с частотопонижающими накладками. При этом достаточно нагрузить четырехполюсник входными импедансами накладок.

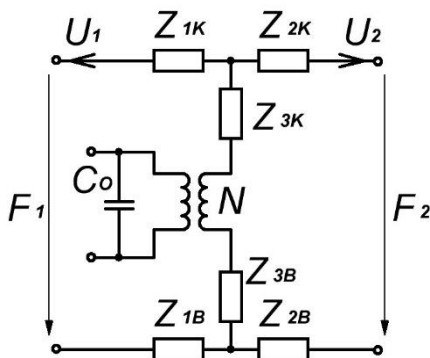


Рисунок 3. Т-образная схема замещения пьезоэлемента с армирующим болтом

роткому замыканию. В результате преобразований, эквивалентная схема (рис.5) приводится к достаточно простой форме.

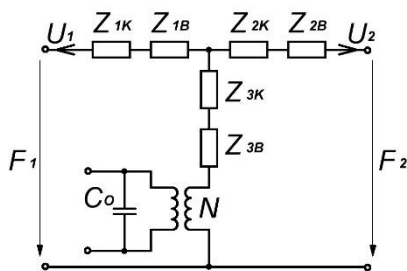


Рисунок 4. Преобразованная Т-образная схема замещения пьезоэлемента с армирующим болтом

На частоте механического резонанса входной импеданс преобразователя чисто активен и минимален. Это позволяет исключить из анализа электромеханический трансформатор. В таком случае, входной механический импеданс равен:

$$Z_{BX} = Z_{3K} + Z_{3B} + 0,5 \cdot (Z_{1K} + Z_{1B}).$$

Приравнивая мнимую часть входного импеданса нулю, можем получить уравнение для нахождения резонансных частот:

$$\frac{Z_{0K}}{\sin \left(\frac{\omega \cdot l_K}{c_k} \right)} + \frac{Z_{0B}}{\sin \left(\frac{\omega \cdot l_K}{c_B} \right)} = 0,5 \cdot \left[Z_{0K} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\omega \cdot l_K}{c_k \cdot 2} \right) + Z_{0B} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\omega \cdot l_K}{c_B \cdot 2} \right) \right].$$

После преобразований, получаем выражение:

$$\cos \left[\frac{\omega \cdot l_K}{c_K \cdot 2} \right] + \frac{Z_{0B}}{Z_{0K}} \cdot \cos \left[\frac{\omega \cdot l_K}{c_B \cdot 2} \right] = 0.$$

Как показывает анализ данного выражения, в зависимости от соотношения волновых сопротивлений материала болта и керамики, будет изменяться степень влияния армирующего болта на частоту основного механического резонанса. Так же видно, что помимо основного резонанса будет как минимум один побочный, определяемый армирующим болтом. Видно, что степень разнесения резонансов будет зависеть от отношения волновых сопротивлений. Помимо сдвига основной частоты,

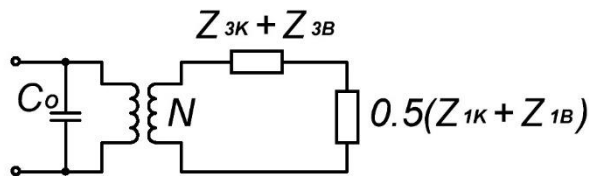


Рисунок 5. Эквивалентная схема пьезоэлемента с армирующим болтом на холостом ходу

будет наблюдаться и степень сдвига частот обертонов.

Как видим, в зависимости от своих акустических параметров, армирующий болт может оказать существенное влияние на частоту основного механического резонанса преобразователя Ланжевена.

Перечень ссылок

1. Луговской А.Ф., Фесич В.П., Мовчанюк А.В. Ультразвуковые приводы для кавитационных технологий.- Промислова гідравліка і пневматика, № 4 (22),-Вінниця, 2008, с. 28-34.
2. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие.-2-е изд., перераб. и доп.-Л.: Судостроение, 1990.- 320с., ил..
3. Ленк А. Электромеханические системы: Системы с распределенными параметрами. Пер. с нем. М.: Энергоиздат, 1982. - 472 с.

Анотація

Представлено еквівалентну схему заміщення п'єзоперетворювача з врахуванням армуючого бовта. Наведено приведення даної схеми до еквівалентного чотириполюсника. Приведено аналітичний вираз для розрахунку резонансної частоти п'єзоперетворювача.

Ключові слова: п'єзоперетворювач, армування, резонансна частота.

Аннотация

Представлено эквивалентную схему замещения пьезопреобразователя с учетом влияния армирующего болта. Приведены преобразование схемы к эквивалентному четырехполюснику. Приведено выражение для расчета резонансной частоты пьезопреобразователя.

Ключевые слова: пьезопреобразователь, армирование, резонансная частота.

Abstract

An equivalent circuit for replacing the piezoelectric transducer is considered, taking into account the effect of the reinforcing bolt. The transformation of the circuit to the equivalent four-terminal network is given. The expression for calculating the resonance component is given taking into account the influence of the reinforcing bolt.

Keywords: piezo transducer, reinforcement, resonant frequency